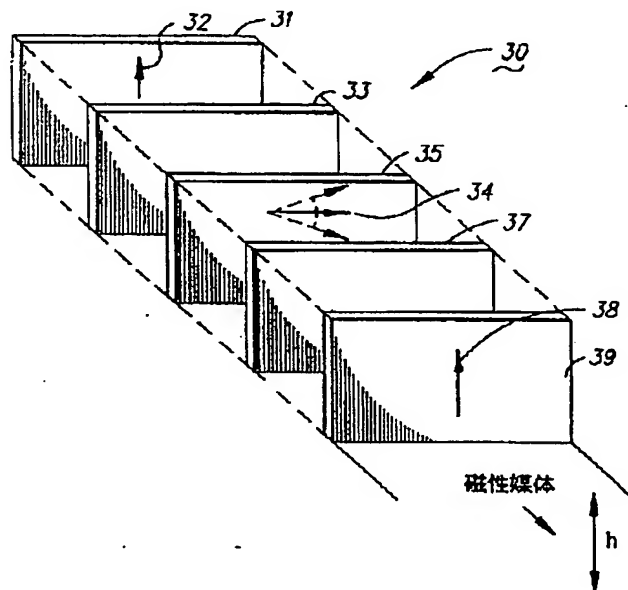


(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成6年(1994)8月12日

Z 9274-4M



1

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】基板と、

前記基板上に形成され、それぞれ非磁性金属の層で分離された第1、第2及び第3の強磁性体層を備え、前記第2の強磁性体層が前記第1の強磁性体層と第3の強磁性体層の間に配置され、前記第1及び第3の強磁性体層中では磁化方向が固定され、前記第2の強磁性体層中の磁化方向が、印加磁界がゼロのとき前記第1及び第3の強磁性体層中の前記の固定した磁化方向に対して実質上垂直である、積層構造とを備える、二重スピン・バルブ磁気抵抗センサ。

【請求項2】前記各強磁性体層がさらに、少くとも1つの追加の材料層を備えることを特徴とする請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項3】前記追加材料層が少くとも1つの強磁性体ナノ層を備えることを特徴とする、請求項2に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項4】前記ナノ層は、前記強磁性体層とは異なる強磁性体材料の層であり、前記強磁性体層と前記非磁性金属層の間の界面に配置されていることを特徴とする、請求項3に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項5】前記第1及び第3の強磁性体層中の磁化方向を固定する手段を備えることを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項6】前記第1の強磁性体層に隣接する第1の硬磁性体層と、前記第3の強磁性体層に隣接する第2の硬磁性体層とを備え、前記第1及び第2の硬磁性体層が、それぞれ前記第1及び第3の強磁性体層中でバイアス磁界を発生させ、それによって前記層中の磁化方向を固定することを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項7】前記第1の強磁性体層に隣接しかつこれに接触する第1の反強磁性体層と、前記第3の強磁性体層に隣接しかつこれに接触する第2の反強磁性体層とを備え、前記第1及び第2の反強磁性体層が、それぞれ前記第1及び第3の強磁性体層中でバイアス磁界を発生させ、それによって前記層中の磁化方向を固定することを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項8】前記非磁性金属層の厚さが、センサ中の伝導電子の平均自由行程長よりも小さいことを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項9】前記第1及び第3の強磁性体層中の前記磁化方向が平行な配向で整列することを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項10】前記第1及び第3の強磁性体層がそれぞれ異なる保磁力を有することを特徴とする、請求項1に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項11】複数のデータ記録用トラックを有する磁気記憶媒体と、  
磁気抵抗センサを含む磁気変換器と、

2

前記磁気変換器に結合され、前記磁気変換器を前記磁気記憶媒体上の選択されたトラックへと移動するためのアクチュエータ手段と、

前記磁気抵抗センサに結合され、その抵抗の変化を検出するための検出手段とを備え、

前記磁気抵抗センサが、

基板上に形成され、それぞれ非磁性金属の層で分離された第1、第2及び第3の強磁性体層を備え、前記第2の強磁性体層が前記第1の強磁性体層と第3の強磁性体層の間に配置され、前記第1及び第3の強磁性体層中では磁化方向が固定され、前記第2の強磁性体層中の磁化方向が、印加磁界がゼロのとき前記第1及び第3の強磁性体層中の前記の固定した磁化方向に対して実質上垂直である、積層構造と前記第1の強磁性体層に隣接しかつこれに接触する第1の反強磁性体層と、

前記第3の強磁性体層に隣接しかつこれに接触する第2の反強磁性体層とを備え、

前記第1及び第2の反強磁性体層が、それぞれ前記第1及び第3の強磁性体層中でバイアス磁界を発生させ、それによって前記層中の磁化方向を固定することを特徴とする、

磁気記憶システム。

【請求項12】前記磁気抵抗センサがさらに、前記第2の反強磁性体層の上に付着されたキャッピング層と、

前記キャッピング層の上に付着された、前記磁気抵抗センサを前記検出手段に結合するための電気リード線手段とを備えることを特徴とする、請求項11に記載の磁気記憶システム。

【請求項13】前記磁気抵抗センサの活性部分中に縦バイアス磁界を提供する手段を備えることを特徴とする、請求項11に記載の磁気記憶システム。

【請求項14】前記第1及び第2の強磁性体層中の前記磁化方向が、平行な配向に整列することを特徴とする、請求項11に記載の磁気記憶システム。

【請求項15】基板上に形成され、それぞれ非磁性金属の層で分離された第1、第2及び第3の強磁性体層を備え、前記第2の強磁性体層が前記第1の強磁性体層と第3の強磁性体層の間に配置され、前記第1及び第3の強磁性体層中では磁化方向が固定され、前記第2の強磁性体層中の磁化方向が、印加磁界がゼロのとき前記第1及び第3の強磁性体層中の前記の固定した磁化方向に対して実質上垂直であり、前記第1及び第2の強磁性体層が、その間に正の巨大磁気抵抗を有し非磁性層で分離された第1の強磁性体層の対を形成し、前記第2及び第3の強磁性体層が、その間に負の巨大磁気抵抗を有し非磁性層で分離された第2の強磁性体層の対を形成する、積層構造を備える、磁気抵抗センサ。

【請求項16】前記第1及び第3の強磁性体層中の前記磁化方向が反平行の配向に整列されることを特徴とす

50

3

る、請求項 15 に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項 17】前記第 1 の強磁性体層に隣接しかつこれに接触する第 1 の反強磁性体層と、前記第 3 の強磁性体層に隣接しかつこれに接触する第 2 の反強磁性体層とを備え、前記第 1 及び第 2 の反強磁性体層が、それぞれ前記第 1 及び第 3 の強磁性体層中でバイアス磁界を発生させ、それによって前記層中の磁化方向を固定することを特徴とする、請求項 15 に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項 18】前記第 1 及び第 2 の反強磁性体が異なるブロッキング温度を有することを特徴とする、請求項 17 に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項 19】さらに、前記第 1 及び第 3 の強磁性体層中の磁化方向を固定する手段を含むことを特徴とする、請求項 15 に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項 20】前記第 1 の強磁性体層に隣接する第 1 の硬磁性体層と、前記第 3 の強磁性体層に隣接する第 2 の硬磁性体層とを備え、前記第 1 及び第 2 の硬磁性体層が、それぞれ前記第 1 及び第 3 の強磁性体層中でバイアス磁界を発生させ、それによって前記層中の磁化方向を固定することを特徴とする、請求項 19 に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項 21】前記第 1 の強磁性体層に隣接しかつこれに接触する第 1 の反強磁性体層と、前記第 3 の強磁性体層に隣接しかつこれに接触する第 2 の反強磁性体層とを備え、前記第 1 及び第 2 の反強磁性体層が、それぞれ前記第 1 及び第 3 の強磁性体層中でバイアス磁界を発生させ、それによって前記層中の磁化方向を固定することを特徴とする、請求項 15 に記載の磁気抵抗センサ。

【請求項 22】前記第 1 及び第 3 の強磁性体層がそれぞれ異なる保磁力を有する強磁性体を含むことを特徴とする、請求項 15 に記載の磁気抵抗センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は一般に磁気媒体に記録した情報信号を読み取るための磁気センサに関し、より詳しくは、多層二重スピン・バルブ構造及び反強磁性交換結合を利用してセンサに固定バイアス磁界を提供する、改良型の磁気抵抗読取りセンサに関する。

【0002】

【従来の技術】従来技術では、磁気抵抗 (MR) センサまたはヘッドと呼ばれる磁気読取変換器が開示されており、これは、大きな線形密度で磁性表面からデータを読み取れることがわかっている。MR センサは、読取素子によって感知される磁束の強さと方向の関数としての抵抗の変化を介して磁界信号を検出する。こうした従来技術の MR センサは、読取素子の抵抗の成分が磁化方向と素子中を流れる感知電流の方向の間の角度の余弦の 2 乗 ( $\cos^2$ ) に比例して変化する、異方性磁気抵抗

(AMR) 効果に基づいて動作する。AMR 効果のより詳しい説明は、D. A トムソン (Thompson) 等の論文 "M

4

emory, Storage, and Related Applications" IEEE Trans. Mag. MAG-11, p. 1039 (1975) に出ている。

【0003】さらに最近には、積層磁気センサの抵抗の変化が、非磁性層を介する磁性層間での伝導電子のスピン依存性伝送、及びそれに付随する層界面でのスピン依存性散乱に帰される、より顕著な磁気抵抗効果が記載されている。この磁気抵抗効果は、「巨大磁気抵抗」効果や「スピン・バルブ」効果など様々な名称で呼ばれている。このような磁気抵抗センサは適当な材料でできており、AMR 効果を利用するセンサで観察されるよりも、感度が改善され、抵抗の変化が大きい。この種の MR センサでは、非磁性層で分離された 1 対の強磁性体層の間の平面内抵抗が、2 つの層の磁化方向の間の角度の余弦 ( $\cos$ ) に比例して変化する。

【0004】米国特許第 4949039 号には、磁性層中の磁化の反平行整列によって生じる高い MR 硬化をもたらす積層磁性構造が記載されている。積層構造で使用する可能な材料として、上記明細書には強磁性の遷移金属及び合金が挙げられているが、MR 信号振幅のより秀れた好ましい材料は示されていない。同明細書ではさらに反強磁性型交換結合を使用して、隣接する強磁性体の層がクロム (Cr) またはイットリウム (Y) の薄い内部層で分離された、反平行整列を得ることが記載されている。

【0005】1990 年 12 月 11 日に出願され、本出願人に譲渡された、同時係属の米国特許出願第 07/625343 号には、2 つの非結合強磁性体層間の抵抗が 2 つの層の磁化方向の間の角度の余弦に比例して変化する、センサ中を通る電流の方向とは独立な、MR センサが開示されている。この機構は、一定の材料を組み合わせた場合、AMR よりも大きな磁気抵抗を発生し、巨大磁気抵抗または「スピン・バルブ」(SV) 磁気抵抗と呼ばれる。

【0006】1992 年 8 月 28 日に出願され、本出願人に譲渡された、同時係属の米国特許出願第 07/937620 号には、非磁性金属材料の薄膜層で分離された 2 つの強磁性体の薄膜層を含み、外部印加磁界がゼロのとき、隣接する反強磁性体層との交換結合によって一方の強磁性体層の磁化が他方の強磁性体層に対して垂直に保たれる、上記の効果に基づく MR センサが開示されている。

【0007】

【本発明が解決しようとする課題】上述のような単一スピン・バルブ MR センサでは、伝導電子は、磁化方向が固定されていない第 1 の強磁性体層から磁化方向が固定されている第 2 の強磁性体層に向かって散乱するだけでなく、その反対方向すなわち第 2 の強磁性体層から離れる方向にも散乱する。磁気抵抗効果に寄与するのは 2 つの強磁性体層間に散乱する伝導電子だけであるから、反

50

5

対方向に散乱する伝導電子が無駄になってしまう。従って、本発明の目的は、いずれの方向に散乱する伝導電子も利用できるMRセンサを提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の原理によれば、多層二重スピン・バルブ構造を有する磁気抵抗(MR)読取センサは、低い印加磁界で大きなMR応答をもたらす。このMR構造は、適当な基板上に形成され、非磁性金属材料の薄膜層で分離された第1、第2及び第3の強磁性体薄膜層を備える、積層構造を含んでいる。第1と第3の強磁性体層、すなわち構造の外側の層はその磁化方向が固定され、構造の中間の第2層は軟磁性体であってその磁化方向が外側の2つの強磁性体層の磁化方向に対して実質上垂直である。第1及び第3の強磁性体層の磁化方向は、当技術分野で知られている、隣接する反強磁性体層によるハード・バイアスまたは交換バイアスを含むいくつかの方法で固定すなわち「ピン付け」することができる。

【0009】好ましい実施例では、2つの外側強磁性体層はその磁化方向が相互に反平行に固定されており、したがって各固定層は他方の固定層の磁束を保持する働きをする。中間の第2の強磁性体層の磁化方向は、印加磁界によって自由に回転することができる。強磁性体層の各対、すなわち第1層と第2層及び第2層と第3層の電気抵抗は、その対の2つの強磁性体層の磁化方向の間の角度の余弦の関数として変化する。伝導電子スピンの関数としての材料の抵抗率の考慮を含めて、適切な材料を選択した場合、効果は2つの層対間で加算的となり、中間の自由層の磁化方向が第1の外側固定層の磁化方向にほぼ平行な方向から第3の外側固定層の磁化方向にほぼ平行な方向へと回転するとき、センサの抵抗が最小値から最大値に変化する、MRセンサが製造できる。電流源からMRセンサに感知電流が供給され、MRセンサは、感知される印加外部磁界の関数として、中間の強磁性体自由層中での磁化方向の回転によるMRセンサの抵抗の変動に比例する電圧降下を読取素子の両端間に発生させる。

【0010】本発明の第2の好ましい実施例では、2つの外側強磁性体層における磁化方向が平行で、共に中間の強磁性体自由層における磁化方向に垂直な、多層スピン・バルブ・センサが提供される。

【0011】

【実施例】本発明は、図1に示したような磁気ディスク記憶システム中で実施するものとして記述するが、たとえば磁気テープ記録システムなど他の磁気記録システムにも適用できることは明らかであろう。少くとも1個の回転可能な磁気ディスク12がスピンドル14上に支持され、ディスク駆動モータ18によって回転される。各ディスク上の磁気記録媒体は、ディスク12の同心データ・トラック(図示せず)の環状パターンの形をとる。

6

【0012】ディスク12上に少くとも1個のスライダ13が位置決めされ、各スライダ13が、1つまたは複数の読み書き変換器21(通常は読み書きヘッドと呼ばれる)を支持する。ディスクが回転するとき、スライダ13はディスク表面22の上を半径方向に内外に移動し、それによってヘッド21は所望のデータが記録されているディスクの様々な部分にアクセスできるようになる。各スライダ13は、サスペンション15によってアクチュエータ・アーム19に取り付けられる。サスペンション15は僅かなばね力を生み、それによってスライダ13がディスク表面22に押し付けられる。各アクチュエータ・アーム19はアクチュエータ手段27に取り付けられる。アクチュエータ手段は、図1に示すようにたとえばボイス・コイル・モータ(VCM)でよい。VCMは固定磁界内で移動可能なコイルを含み、コイルの運動の方向及び速度が制御装置から供給されるモータ電流信号によって制御される。

【0013】ディスク記憶システムの動作中、ディスク12の回転によってスライダ13とディスク表面22の間に空気ベアリングが発生し、これがスライダに上向きの力を加える。こうして空気ベアリングはサスペンション15の僅かなばね力を打ち消し、スライダ13を動作中ディスク表面から小さなほぼ一定の間隔だけ上方に持ち上げる。

【0014】ディスク記憶システムの様々な構成要素は、動作中、アクセス制御信号や内部クロック信号など制御装置29によって発生する制御信号によって制御される。通常、制御装置29は、たとえば論理制御回路、記憶手段及びマイクロプロセッサを含む。制御装置29は、線23上の駆動モータ制御信号、線28上のヘッド位置/シーク制御信号など、様々なシステム動作を制御するための制御信号を発生する。線28上の制御信号は、選択されたスライダ13を関連するディスク12上の所望のデータ・トラックに最適に移動し位置合せするため、所望の電流プロファイルを提供する。読取信号及び書込信号は記録チャンネル25によって読み書きヘッド21との間で通信される。

【0015】典型的な磁気ディスク記憶システムの上記の記述及びそれに付随する図1の図示は例示のためのものにすぎない。ディスク記憶システムが多数のディスクとアクチュエータを包含することができ、各アクチュエータがいくつかのスライダを支持することができることは明かであろう。

【0016】次に図2を参照すると、本発明の原理によるMRセンサ30の好ましい実施例は、第1の強磁性体薄膜層31、第1の非磁性金属薄膜層33、第2の強磁性体薄膜層35、第2の非磁性金属薄膜層37、及び第3の強磁性体薄膜層39を含む。2つの外側強磁性体層31、39の磁化方向は、相互に平行すなわち同じ方向であり、それぞれ矢印32、34、38で示す外部印加

7

磁界がないときは中間強磁性体層35の磁化方向に対して約90度の角度をなす。さらに第1及び第3の強磁性体外側層31、39の磁化方向は、矢印32、38で示す好ましい方向に固定すなわちピン付けされる。すなわち、外側強磁性体層31、39の磁化方向は固定されているが、中間強磁性体層35の磁化方向は、図2に層35の上の破線の矢印34で示すように、(図2に示す磁界hのような)外部印加磁界にตอบสนองして自由に回転する。

【0017】本発明のこの好ましい実施例によれば、強磁性体層31、35、39は、コバルト(Co)、鉄(Fe)、ニッケル(Ni)など適当な磁性体、及びニッケル鉄(NiFe)、ニッケル・コバルト(NiCo)、鉄コバルト(FeCo)などそれらの合金から製造することができる。非磁性金属スペーサ層33、37は、たとえば銅(Cu)または銀(Ag)、金(Au)などの他の適当な貴金属あるいはその合金を含む。センサの読取素子が強磁性体/非磁性体/強磁性体の積層構造を含む、スピン・バルブ効果に基づくMRセンサは、上記の米国特許出願第07/625343号に詳細に記載されており、同明細書を引用により本明細書に組み込む。外側の固定強磁性体層31、39には、隣接するたとえば鉄マンガ(FeMn)などの反強磁性体の層(図9に示す)によって交換バイアスをかけることができる。固定強磁性体層が隣接の反強磁性体層によって交換バイアスを受ける、スピン・バルブ効果に基づくMRセンサは、上記の米国特許出願第07/937620号に詳細に記載されており、同明細書を引用により本明細書に組み込む。別法として、隣接する硬磁性層を使用して、または外側固定層31、39に十分に高い保磁力を有する材料を使用して、固定強磁性体層31、39の磁化方向を固定することもできる。

【0018】上記の諸特許出願に記載されているような従来型の単一スピン・バルブMRセンサの構造は、基本的に自由FM/NM/固定FM/AFMである。ただし、自由FMと固定FMは非磁性層NMで分離された強磁性体層である。固定FM層の磁化方向は、反強磁性体層AFMによってもたらされる交換結合バイアス磁界によって、ある程度の大きさの磁界まで固定される。このセンサの磁気抵抗効果は、隣接するFM層中の磁化方向が異なるとき、NM層を通してあるFM層から他のFM層に移動する伝導電子がそのスピンの応じて散乱し、センサの抵抗が増加することに基づいている。この抵抗の変化は、FM層中の磁化方向の間の角度の余弦の関数であり、磁化方向が平行すなわち同一方向のとき最小であり、層中の磁化方向が反平行すなわち逆方向のとき最大となる。

【0019】しかし、上記の単一スピン・バルブ構造では、伝導電子は自由FM層から固定FM層に向かって散乱するだけでなく、逆方向に固定FM層から離れる方向に

8

も散乱する。したがって、伝導電子のうち2つのFM層間に散乱する部分だけが、センサの磁気抵抗効果に寄与する。

【0020】図2に関して上述した構造は、スピン・バルブ構造が自由FM層に関して対称形で二重になっている、「二重」スピン・バルブを含む。二重スピン・バルブの構造は、AFM<sub>1</sub>/固定FM<sub>1</sub>/NM<sub>1</sub>/自由FM/NM<sub>2</sub>/固定FM<sub>2</sub>/AFM<sub>2</sub>であり、NM層で分離された2対のFM層をもたらす。これによって、中間の自由FM層から両方向に散乱する伝導電子の利用が可能になる。2つの外側固定FMにおける磁化の方向は、それぞれ隣接する反強磁性体層AFM<sub>1</sub>、AFM<sub>2</sub>によって固定され、自由FM層における磁化方向は、印加磁界にตอบสนองして自由に回転できる。

【0021】次に図3をも参照すると、強磁性体層FM<sub>1</sub>、FM<sub>2</sub>、FM<sub>3</sub>がそれぞれ複数の強磁性体層を含む、図2、9、10に関して述べる二重スピン・バルブ・センサの端面図が示されている。上述のように、二重スピン・バルブ・センサは、FM<sub>1</sub>/S<sub>1</sub>/FM<sub>2</sub>/S<sub>2</sub>/FM<sub>3</sub>構造を含む。この実施例では、第1の強磁性体層FM<sub>1</sub>は、たとえばNiFeなど第1の強磁性体の層311と、「ナノ層」と呼ばれる、たとえばCoなど第2の強磁性体の層313とを含む。第1の強磁性体層FM<sub>1</sub>と第1のスペーサ層371の界面に第2の強磁性体のナノ層313が付着されている。したがって第1の強磁性体層は、2種の異なる強磁性体の二層311、313を形成する。同様に、第3の強磁性体層FM<sub>3</sub>は、2種の異なる強磁性体の二層301、303を含み、第3の強磁性体層FM<sub>3</sub>と第2のスペーサ層331の界面にナノ層303が形成される。中間の第2の強磁性体層FM<sub>2</sub>は両方のスペーサ層331、371との界面を形成するので、たとえばNiFeなど中央の強磁性体層305と、それぞれ隣接のスペーサ層371、331との界面に形成された、たとえばCoなどの第2の強磁性体のナノ層309、307との三層を含む。ナノ層の厚さは0.5~20Åの範囲である。別法として、強磁性体層の内部に、強磁性体層とスペーサ層の界面から距離Xの所にナノ層を形成することもできる。強磁性体層の内部にナノ層を形成する場合、ナノ層の材料は、たとえばCrなどの非磁性材料、ならびに強磁性体とすることができる。上記のナノ層を使用した磁気抵抗センサは、1991年8月26日に出願され、本出願人に譲渡された、同時係属の米国特許出願第07/750157号に詳細に記載されている。その開示を引用により本明細書に組み込む。

【0022】次に図4及び5をも参照すると、比較のために、それぞれ従来型の単一スピン・バルブMRセンサの磁気抵抗曲線36及びヒステリシス曲線46と、本発明による二重スピン・バルブMRセンサの磁気抵抗特性が示されている。図4に示すように、上記の米国特許出

50

9

願第07/937620号に記載された種類のスピンのバルブ・センサは、シリコン(Si)基板上に付着され、 $\text{Si}/50\text{Ta}/75\text{NiFe}/22.5\text{Cu}/50\text{NiFe}/110\text{FeMn}/50\text{Ta}$ の構造を有し、上式中の数字はオングストローム単位の層厚を示し、2つのタンタル(Ta)層がそれぞれ緩衝層及びキャッピング層として機能するが、4%の最大磁気抵抗率 $\Delta R/R$ をもたらす。各層の厚さは、この構造中の諸材料で得られる最高の磁気抵抗値をもたらすように最適化されている。

【0023】一方、図5に示すように二重スピン・バルブの好ましい実施例は、Si基板上に付着され、 $\text{Si}/50\text{Ta}/20\text{NiFe}/110\text{FeMn}/60\text{NiFe}/25\text{Cu}/100\text{NiFe}/25\text{Cu}/60\text{NiFe}/110\text{FeMn}/50\text{Ta}$ の構造を有し、単一スピン・バルブ構造よりも35%高い5.5%の磁気抵抗率をもたらす。上記の二重スピン・バルブ構造中の第1のNiFe層は、反強磁性体FeMnをもたらすのに必要な結晶構造を得るために利用されるシード層を提供する。電流分岐を最小限に抑えるのに十分な高い抵抗率を有し、反強磁性形のFeMnを成長させる材料なら何でもシード層として使用するのに適している。

【0024】次に図6、7、8を参照すると、外側の固定強磁性体層中の磁化方向が相互に反平行にすなわち逆方向に保たれる、二重スピン・バルブMRセンサが設計できる。さらに、各層の材料を適切に選択することにより、巨大磁気抵抗(GMR)と称する正と負の両方のスピン依存性磁気抵抗を利用して、高い値のセンサの $\Delta R/R$ 値を生成することができる。図6に示すように、正のセンサのGMRを有する単一スピン・バルブ構造は、非磁性層NMで分離された2つの強磁性体層FM<sub>1</sub>、FM<sub>2</sub>を含み、両方の強磁性体層のスピンアップ抵抗( $r_{\text{ho up}}$ )とスピンドウン抵抗( $r_{\text{ho down}}$ )が関係 $r_{\text{ho up}} > r_{\text{ho down}}$ または $r_{\text{ho up}} < r_{\text{ho down}}$ を満たす。この構造では、抵抗は矢印50で示す層FM<sub>1</sub>とFM<sub>2</sub>の磁化方向が平行なとき最小となり、層FM<sub>1</sub>、とFM<sub>2</sub>の磁化方向が反平行のとき最大となる。図7に示すように、負のGMRを有する単一スピン・バルブ構造は、非磁性層で分離された2つの強磁性体層を有し、第1の強磁性体層FM<sub>1</sub>では $r_{\text{ho up}} > r_{\text{ho down}}$ 、第2の強磁性体層FM<sub>2</sub>では $r_{\text{ho up}} < r_{\text{ho down}}$ である。この構造では、抵抗は矢印60で示すように磁化が反平行に整列する場合に最小となり、磁化が平行に整列する場合に最大となる。

【0025】たとえば、図8は本発明による3つの強磁性体層を示す。層FM<sub>1</sub>とFM<sub>2</sub>の間では、GMRは正であって、矢印71及び73で示すそれらの磁化が平行に整列する場合に最小の抵抗を生じる。一方、層FM<sub>2</sub>とFM<sub>3</sub>の間では、GMRは負であって、矢印73及び75で示すそれらの磁化が反平行に整列する場合に最小の

10

抵抗を生じる。層FM<sub>1</sub>とFM<sub>3</sub>の磁化方向は逆方向(矢印71および75)に固定されているので、この構造の正味の効果として、矢印73で示す自由層FM<sub>2</sub>の磁化が矢印75で示す固定層FM<sub>3</sub>の磁化と平行に整列するとき抵抗が最大になり、自由層FM<sub>2</sub>の磁化が矢印71で示す固定層FM<sub>1</sub>の磁化と平行に整列するとき最小になる。さらに、2つの固定層のFM<sub>1</sub>とFM<sub>3</sub>の磁化は逆方向に整列するので、各層は他方の層の磁束を保持する働きをし、それによって固定層の減磁効果が減少する。

10 【0026】次に図9をも参照すると、本発明の原理によるMRセンサ40のもう1つの好ましい実施例は、第1の反強磁性体薄膜層51、第1の強磁性体薄膜層41、第1の非磁性金属薄膜層43、第2の強磁性体薄膜層45、第2の非磁性材料薄膜層47、第3の強磁性体薄膜層49、及び第2の反強磁性体薄膜層53を含む。2つの反強磁性体層51、53は、当技術分野で周知の交換結合によって、それぞれ隣接の強磁性体層41、49中にバイアス磁界をもたらす。それぞれ矢印42及び48で示す、2つの外側強磁性体層41、49の磁化方向は互いに反平行すなわち逆方向であり、外部印加磁界がないとき、矢印44で示す中間の強磁性体層45の磁化方向に対して約90度の角度を有す。さらに第1及び第3の外側強磁性体層41、49の磁化方向は、それぞれ反強磁性体層51及び53の交換バイアスによって、矢印42及び48で示す好ましい方向に固定されている。

30 【0027】この好ましい実施例では、交換バイアス層51、53は異なる反強磁性体を含み、たとえば、それぞれFeMnとニッケル・マンガン(NiMn)を含むことが好ましい。この2つの反強磁性体はブロッキング温度が異なり、したがって各反強磁性体層51、53の交換バイアス方向を相互に独立して設定することができる。たとえばFeMnとNiMnの場合、FeMnのブロッキング温度は約220℃であり、NiMnのブロッキング温度はそれよりもずっと高い。したがってまずNiMn層の交換バイアス方向が比較的高い温度、たとえば約260℃で設定され、次いで、FeMn層の交換バイアス方向がそれより低くFeMnのブロッキング温度よりも僅かだけ高い温度、たとえば約230℃で設定される。上記で論じたようにシード層を使用して、反強磁性体層51、53が所望の構造をもつようにすることができる。高い磁気抵抗の値を生じるセンサを提供するために、強磁性体層41、45、49の材料は、正と負のGMR層対の両方を利用できるように選ぶ。先に図7に関して述べたように、第1の強磁性体層41と第2の強磁性体層45の間ではGMRが正となり、第2の強磁性体層45と第3の強磁性体層49の間ではGMRが負になるように材料を選択する。NiまたはFe基質中にバナジウム(V)またはクロム(Cr)を含む希釈合金は $r_{\text{ho up}} > r_{\text{ho down}}$ となる強磁性体をもたらす、Ni

50



11

基質中のFeまたはCoは $\rho_{\text{up}} < \rho_{\text{down}}$ となる強磁性体をもたらす。アルミニウム(Al)、イリジウム(Ir)またはマンガンで希釈したFeまたはCoのスピニ依存性抵抗も知られている。非磁性スペーサ層43、47は、たとえばCu、Au、Agなど適切な非磁性金属とすることができる。反強磁性体層51、53の厚さは50ないし200オングストロームであるのが好ましい。

【0028】次に図10を参照すると、本発明による二重スピニ・バルブMRセンサのさらに別の実施例が示されている。第1の反強磁性交換バイアス層59を付着する前に、基板55上にたとえばTa、Ru、CrVなどの適当な下層57を付着する。下層57の目的は、後続諸層のテクスチャ、粒度、形態を最適化することである。形態は一重スピニ・バルブ構造の大きなMR効果特性を得るのに極めて重要な場合がある。というのは、そうすると強磁性体層61、65、69の間に非常に薄い非磁性金属スペーサ層63、65を使用することが可能になるからである。下層はまた、電流分岐効果を最小限に抑えるために高い抵抗率をもたなければならない。基板55が抵抗率の十分に高い材料でできており、十分に平坦な表面と適当な結晶学的構造をもつ場合、下層57を省略することができる。交換バイアス層59は、たとえばFeMnやNiMnなど適切な反強磁性体なら何でも使用できる。具体的には、FeMn(60/40重量%)を使用すると、FeMn反強磁性体層を最初に付着する場合、後続の2つの強磁性体層の間の結合磁界が減少する。第1の反強磁性体層59に使用する材料が適切な結晶構造をもつように直接付着することができない場合は、シード層(図示せず)も必要となることがある。たとえば、上記で論じたように、交換バイアス層にFeMnを使用する場合、反強磁性形のFeMnを得るために、好ましくはNiFeまたはAuCuのシード層が望ましい。

【0029】第1の強磁性体薄膜層61、第1の非磁性金属薄膜層63、第2の強磁性体薄膜層65、第2の非磁性金属薄膜層67、第3の強磁性体薄膜層69、及び第2の反強磁性体薄膜交換バイアス層71を下層57の上に付着する。第1及び第3の強磁性体層61、69はその磁化方向が相互に平行であり、印加磁界がないとき中間の第2の強磁性体層65の磁化方向に対して約90度の角度をなす。上述のように、第1及び第3の強磁性体層61、69の磁化方向は、交換結合によって発生したバイアス磁界によって位置が固定される。別法として、隣接の硬磁性層を使用して、あるいは外側強磁性体層に保磁力の比較的高い材料を使用し、製造中に磁化方向を設定することによって、外側強磁性体層61、69を固定することができる。外側強磁性体層61、69の磁化方向が異なり、たとえば反平行である場合、一方の層の磁化方向が他方の層と独立に設定できるには、各層

12

の保磁力が異なっていなければならない。

【0030】強磁性体層61、65、69は、たとえばCo、Fe、Niなど適当な磁性体、あるいはNiFe、NiCo、FeCoなどそれらの合金から製造することができる。強磁性体層61、65、69の厚さは、約5~150Åの範囲で選択することができる。

【0031】非磁性スペーサ層63、67は、高伝導性の金属であることが好ましい。Au、Ag、Cuなどの貴金属は大きなMR応答を与え、Pt及びPdは小さなMR応答を与え、Cr及びTaは非常に小さなMR応答を示す。非磁性スペーサ層63、67の厚さはセンサ中の伝導電子の平均自由行程より小さく、約10~40Åの範囲で選択することが好ましい。

【0032】次にMRセンサの上に、たとえばTaやジルコニウム(Zr)など高抵抗材料のキャッピング層73を付着する。リード線76を設けて、MRセンサと電流源77と感知手段79の間に回路経路を形成する。さらに、バルクハウゼン・ノイズを最小限に抑えるため、センサ中の磁性体層の縦方向に平行な縦バイアス磁界を提供することが望ましい。当技術分野で周知の通り、適当な硬磁性体の層75をセンサの端部領域の上に付着すると、センサの中央の活性領域78で縦バイアス磁界が形成される。別法として、センサの端部領域の上に強磁性体層と直接接触して形成させた反強磁性体層による交換結合によって縦バイアス磁界を形成することもできる。

【0033】

【発明の効果】本発明によれば、中間の強磁性体層から外側の強磁性体層に向けて両方向に散乱する伝導電子を利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を実施する磁気ディスク記憶システムの簡略化された構成図である。

【図2】本発明の原理による磁気抵抗センサの好ましい実施例の分解透視図である。

【図3】本発明の原理による磁気抵抗センサの他の好ましい実施例の端面図である。

【図4】従来技術のスピニ・バルブMRセンサ構造のヒステリシス曲線と磁気抵抗応答を示すグラフである。

【図5】図2に示したMRセンサの磁気抵抗応答を示すグラフである。

【図6】正の巨大磁気抵抗を有するスピニ・バルブ構造を示す概略図である。

【図7】負の巨大磁気抵抗を有するスピニ・バルブ構造を示す概略図である。

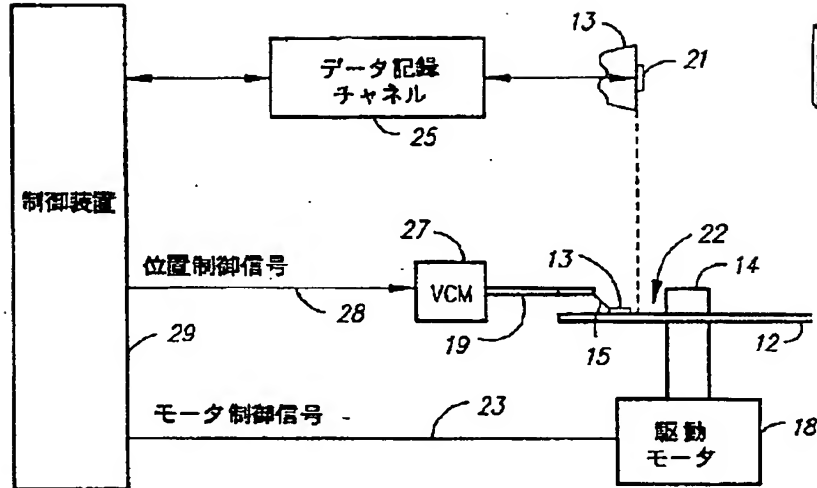
【図8】本発明の原理による正及び負の巨大磁気抵抗を利用する二重スピニ・バルブの概略図である。

【図9】本発明の原理による磁気抵抗センサの別の好ましい実施例の分解透視図である。

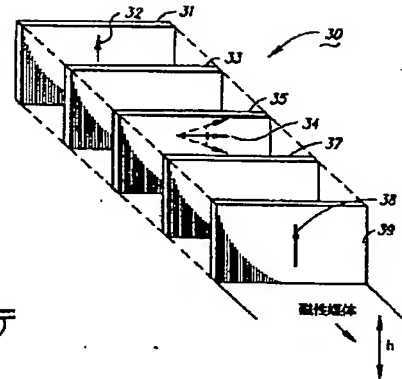
【図10】本発明に従って構築した磁気抵抗センサの別

の実施例の端面図である。

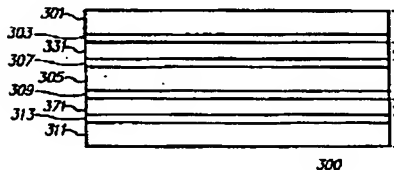
【図 1】



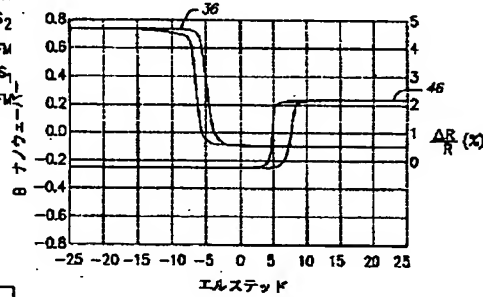
【図 2】



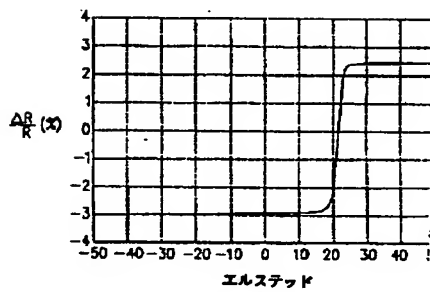
【図 3】



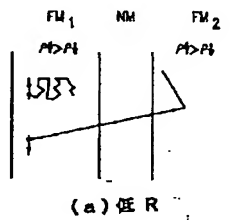
【図 4】



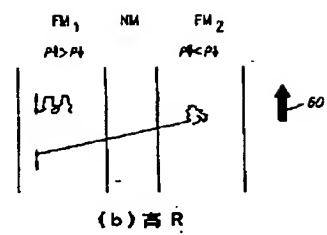
【図 5】



【図 6】

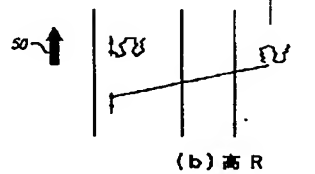


【図 7】



(a) 低 R

(b) 高 R



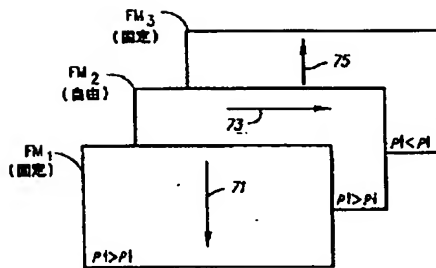
(b) 高 R



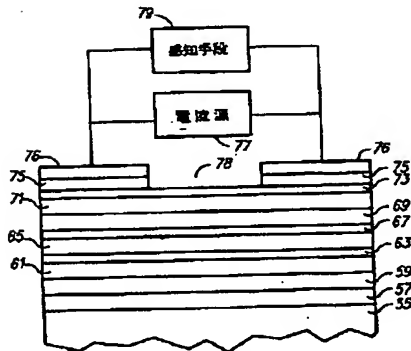
(a) 低 R



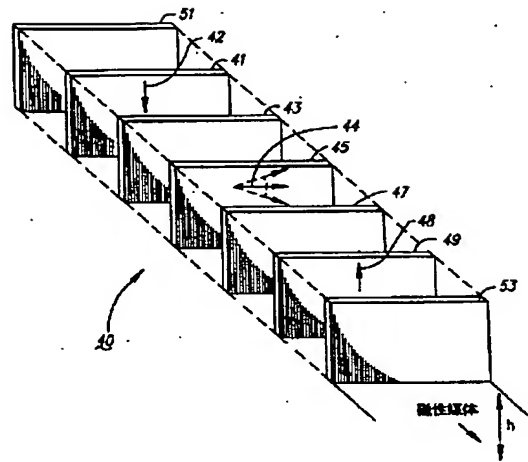
【図 8】



【図 10】



【図 9】



フロントページの続き

(72) 発明者 ベルナル・ディエニ  
フランス38042、グルノーブル・クレデッ  
クス、シー・エヌ・アール・エス 166エ  
ックス

(72) 発明者 ブルス・アルヴィン・ガーニー  
アメリカ合衆国95051、カリフォルニア州  
サンタ・クララ、フローラ・ヴィスタ・ア  
ベニュー 3770

(72) 発明者 ジャン＝ピエール・ノジュール  
フランス38700、コラン、シュマン＝ド＝  
ヴァンス 8

(72) 発明者 ヴァージル・サイモン・スベリオス  
アメリカ合衆国95119、カリフォルニア州  
サンノゼ、セント・ジュリー・ドライブ  
351

(72) 発明者 デニス・リチャード・ウィルホイト  
アメリカ合衆国95037、カリフォルニア州  
モーガン・ヒル、スプリング・ヒル 575

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**